

インフラ構造物安全管理のための無線センサシステムの開発

北九州市立大学 学生会員 ○八反田 拓己、正会員 野上 敦嗣
 新日本製鐵(株) 正会員 松岡 和巳
 吉川工業(株) 非会員 賀屋 和昭、正会員 中村 嘉和

1. 序論

日本は高度経済成長期から多くの構造物を立てており、建築されて数十年が経過し老朽化が進んでいるものが多い。この財政難の中で費用の掛かるスクラップアンドビルドを行うのは非現実的であることに加え、資源の有効利用による地球環境負荷の低減という観点からも、既存ストックの保全(メンテナンス)・長寿命化に向けた取り組みが重要性を増している。

従来のメンテナンス点検では、打音、目視点検といった技術者がひとつずつ見て回るか、配線を行って大掛かりな計測機器を使用した測定が主で、高所や危険箇所の点検は時間とコストがかかり、頻繁に行えるものではなかった。工場で使われるクレーンガタなどの鋼構造物は工場の稼動の問題もあり、補強を繰り返しながら使っているのが現状である。そのような、いつ構造劣化が進行するかわからない状況では、継続的な監視をする必要もある。また、保全技術は熟練度によるものが大きいいため、団塊世代の退職に伴う技術継承がうまく行えていないことも問題になっている。



図1 無線センサシステム概要図

そこで本研究では対象とする主な構造物を鋼構造物として無線ICタグとセンシング技術に注目し、センサによる構造物の定量的な劣化監視を行い、無線ICタグを使い素早く情報を得ることができるインフラ構造物安全管理のための無線センサシステムの開発を行った。無線センサシステムの概要図を図1に示す。

2. インフラ構造物安全管理のための無線センサシステムの構成

2.1 無線センサシステム全体の構成

本研究の無線センサシステムは、センサエレメント、測定モジュール、リーダ/ライタ、制御用のPCによって構成される。システムの構成図を図2に示す。センサエレメントは、外付けになっており様々なタイプのセンサを取り付けることができる。測定モジュールは、リーダ/ライタとの通信を行う無線ICタグを用いた通信回路とセンサエレメントの状態を測定する測定回路(PIC)で構成されている。PICは通信回路からの指令で測定制御を行う。リーダ/ライタには、バータタイプのアンテナが接続され測定モジュールに近づけて電力供給とデータの送受信を行う。

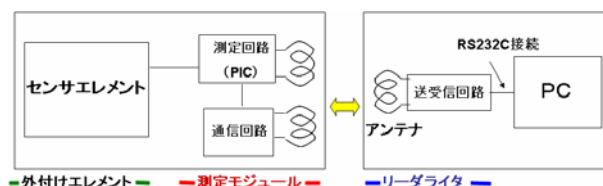


図2 センサシステム構成図

本システムは、監視箇所にセンサエレメントを取り付け、点検時にリーダ/ライタを使いセンサが得る監視データを読み取る。通信に電源が不要であるパッシブタイプの無線ICタグを用いた測定モジュールを使用するため、高所、危険箇所などの接近が困難な場所の設置が一回で済み、次回からは安全な所からアンテナで通信だけで迅速に監視データが得られることが最大の特徴である。また、リーダ/ライタ、または、制御用PCはデータを保存できるため、監視データの蓄積が可能となる。そのデータベースにより、構造劣化の傾向予測が容易になり、今後のメンテナンスの効率化に大きく貢献できる。

2.2 センサエレメント

鋼構造物における主な劣化は、繰り返し応力から来る

キーワード 無線ICタグ、組み込みシステム、構造物安全管理、リスクマネジメント、無線センサシステム
 連絡先 〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1 北九州市立大学 TEL 093-695-3240

疲労クラックや、飛来塩分・酸性ミスト・腐食性ガスから起こる腐食である。そこで疲労破壊を防止するため、クラック・腐食の進行を監視するクラック・腐食センサエレメント、腐食環境の測定を行う pH センサエレメントなどが必要となる。本研究では、これら鋼構造物安全管理センサの原理である抵抗値変化を得られるセンサエレメントを使用した。

2.3 無線 IC タグ

本研究の測定モジュールの通信回路に使用している無線 IC タグはパッシブタイプである。パッシブタイプのタグは、リーダ/ライタのアンテナから送られる電波により、電力を得るため電池を必要とせずに半永久的に使用することが可能である。

2.4 制御システム

リーダ/ライタは制御用の PC から送受信コマンドを受け、測定モジュールからバイナリデータを受け取り、PC で換算計算することによって実際の抵抗値を得ることができる。本研究の制御システムでは、抵抗値と pH 値を得ることができる仕様になっている。リーダ/ライタの送受コマンドや測定モジュールから送られてくるバイナリデータは、種類によって異なり、それに応じた処理をする必要がある。本研究では、制御システムのプログラムを作成し、無線センサシステムの試作機の製作、および動作実験を行った。

3. バッテリー駆動型無線センサシステムの作成

制御装置として、WindowsOS のタブレット PC を用い、リーダ/ライタの電源をバッテリー駆動型にした試作機の製作を行った。プログラム言語として Visual Basic を使用しており、操作ウィンドウをタッチし、制御操作を行う。測定の際には、PC とリーダ/ライタを収納したケースを持ち運ぶ必要があるが、大きく、重い、高所など危険な場所での使用は困難であった。実用化に向けて、1) 小型化が必要 2) 画面からの操作は不便 3) 画面を見ての通信の成否の確認は安全面から変更が必要、といったことが確認された。

4. ハンディ型無線センサシステムの開発

前回製作した試作機の結果から、実用化に向けての必要機能が確認された。そこで CPU に SH-4 が使われている組み込み Linux ボードを制御システムに用いてリーダ/ライタと制御装置を一体化し、必要機能の実装・最適化を目指した。また、専用のマザーボードを独自に製作し、

LAN によるネットワーク機能、および、シリアルポート、USB などのインターフェイスを搭載し、機能・配置の効率化を行った。これにより、軽量化、小型化に加え、外部メモリの取り付け、LAN 接続によるデータの取り出し、プログラムの修正・機能の追加も可能になり拡張性の向上に成功した。また、使用時の利便性向上のため、アンテナ部にスイッチと LED を搭載し、スイッチ押下による測定指示、および、測定の成否を LED 表示で確認する仕様にした。これらのハードウェア制御に C 言語で製作したデバイスドライバを Linux カーネルモジュールに組み込んだ制御システムを製作した。この方式を用いることにより、LED やスイッチをファイルに見立て I/O ポートに読み書きすることができ、他の基盤への移植などが容易に行え、拡張性を向上させることができる。完成したハンディ型無線センサシステムにおけるリーダ/ライタの外観を図 3 a に示す。



図3 ハンディ型無線センサシステムリーダライタ
(a)外観図 (b)動作結果表示

5. 結果検証

動作確認を行った際の測定値のパネル表示例を図 3 b に示す。確認時、センサエレメントに 510 k Ω の抵抗を接続しており、センサエレメントから抵抗値を得られたことが確認できる。また、LAN 経由で保存したデータを取り出せることも確認された。通信距離は最大で 5 c m 程度で、この範囲内では、ほぼ確実に受信できることができる。試作機を工場クレーンガータの溶接部亀裂監視に取り付けて機能確認実験を実施した。その結果、設置数ヶ月後に亀裂発生を検出し、詳細非破壊検査でもその亀裂の存在を確認することができた。

6. 今後の課題

効率的な無線センサシステムの実現に向けて、5 c m 程度の通信距離は短く、通信距離を長くすることが求められる。そのためには、自立充電型のアクティブタイプや、UHF 帯域の RFID タグの使用が考えられる。実装には、金属による通信距離の影響など使用環境を考慮しなくてはならない。現在、開始したフィールド実験を重ねて、機能性および信頼性のさらなる向上を目指している。